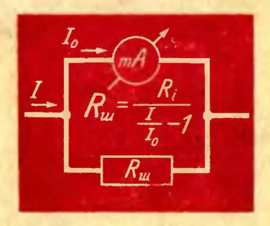
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

С. СТЕПАНОВ

РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1955

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 215

С. СТЕПАНОВ

РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1955 ЛЕНИНГРАД

В книге излагаются методы расчета вольтметров, амперметров и омметров. Описание этих методов сопровождается примерами, облегчающими понимание формул.

Пользуясь книгой и приведенными в ней схемами, радиолюбитель, имеющий прибор магнитоэлектрической системы, может сам рассчитать комбинированный измерительный прибор.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей.

Автор — *Сергей Степанов*

РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Редактор *С. Ф. Корндорф* Технич. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 3/XI 1954 г. Подписано к печати 29/XII 1954 г.

Бумага 84×108[1]/32 Т-09723 1,64 п. л. Уч.-изд. л. 2

Цена 80 коп. Тираж 25 000 экз. Заказ № 1445.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В радиолюбительской практике качество регулировки и наладки самодельных приемников, усилителей и т. д. в значительной степени определяется наличием измерительной аппаратуры. При ее отсутствии даже очень опытный радиолюбитель не сможет хорошо наладить изготовленный им приемник. Наиболее часто необходимо измерять токи, напряжения и сопротивления.

Приборы, служащие для измерения напряжений, токов и сопротивлений, должны иметь широкие пределы измерений, так как измеряемые напряжения могут лежать в пределах от единиц до тысяч вольт, токи — от единиц микроампер до единиц ампер и сопротивления — от единиц до миллионов ом. Поэтому всегда желательно иметь измерительный прибор, имеющий несколько пределов измерений.

Часто указанные виды измерений проводятся одним комбинированным прибором, который называется *авометром* и объединяет в себе вольтметр, амперметр и омметр.

При изготовлении авометра радиолюбителю приходится подбирать шунты и добавочные сопротивления путем длительной и кропотливой работы. В настоящей брошюре описывается расчет шунтов и добавочных сопротивлений применительно к любому гальванометру. В ней также указывается, как определить параметры гальванометра, необходимые для расчета шунтов и добавочных сопротивлений.

Пользуясь данной брошюрой, радиолюбитель может сам рассчитать вольтметр, миллиамперметр, омметр, комбинированный вольтамперметр и авометр. Приведенные в ней формулы позволяют рассчитать прибор с достаточной для радиолюбительской практики точностью, за исключением приборов переменного тока, где требуется дополнительная подгонка сопротивлений.

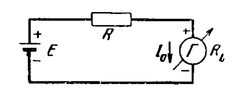
Большинство расчетов и примеров в книге дано для четырех пределов измерений. Такое количество пределов измерений позволяет рассчитать измерительный прибор, обладающий достаточно широким рабочим диапазоном.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЛЬВАНОМЕТРА

Конструирование многошкальных приборов начинается с выбора гальванометра. Для вольтметра, амперметра и омметра можно считать, что чем меньше ток I_0, который, проходя через гальванометр, отклоняет его стрелку на всю шкалу, тем более высококачественным будет сконструированный прибор. Это значит, что амперметром можно будет измерять более малые токи, омметром — большие величины сопротивлений, а вольтметр будет обладать более высоким входным сопротивлением.

Для расчета схем вольтметра, миллиамперметра и омметра необходимо знать величину тока I_0, проходящего через гальванометр при полном отклонении стрелки, и сопротивление R_i рамки гальванометра. Для определения этих величин сначала необходимо установить, нет ли в корпусе гальванометра шунтов или добавочных сопротивлений, и если они имеются, их надо отсоединить. Затем, пользуясь схемой фиг. 1, можно определить ток полного отклонения стрелки и сопротивление рамки гальванометра. Для повышения точности измерения э. д. с. E желательно выбирать малой ($1 \div 2$ *в*). Подбор сопротивления R во избежание порчи гальванометра необходимо начинать с заведомо большого сопротивления (не менее 0,5 *мгом*), постепенно уменьшая его до величины R_1, соответствующей отклонению стрелки гальванометра точно до середины шкалы. Затем сопротивление R уменьшают до величины R_2, при которой стрелка прибора отклоняется на всю шкалу.



Фиг. 1. Схема определения тока, полного отклонения стрелки и сопротивления рамки гальванометра.

Измерение величин E, R_1 и R_2 проводится по возможности более точно. Зная эти величины, можно определить

сопротивление рамки гальванометра и ток полного отклонения стрелки по формулам:

$$R_i = R_1 - 2R_2; \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{E}{R_1 - R_2}. \quad (2)$$

Пример 1. В результате измерений по схеме фиг. 1 получено:

$R_1 = 18\,500$ *ом*; $R_2 = 8\,500$ *ом* и $E = 1{,}5$ *в*.

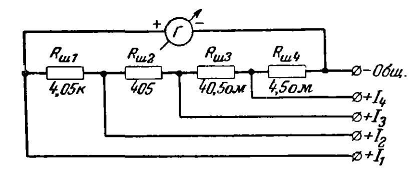
По формулам (1) и (2) определяем:

$$R_i = 18\,500 - 2\cdot 8\,500 = 1\,500 \text{ ом};$$

$$I_0 = \frac{1{,}5}{18\,500 - 8\,500} = 150\cdot 10^{-6} \text{ а}.$$

РАСЧЕТ СХЕМЫ МНОГОШКАЛЬНОГО МИЛЛИАМПЕРМЕТРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для измерения токов, превышающих величину тока полного отклонения стрелки, обычно применяют универсальный шунт, схема которого для четырех пределов измерений



Фиг. 2. Схема универсального шунта к гальванометру.

изображена на фиг. 2. Универсальный шунт представляет собой ряд последовательно соединенных сопротивлений с отводами от мест соединения. Изменение пределов измерения производится путем включения различных участков универсального шунта в цепь, в которой измеряется ток.

Полное сопротивление универсального шунта

$$R_{ш.общ} = R_{ш\,1} + R_{ш\,2} + R_{ш\,3} + R_{ш\,4} \quad (3)$$

используется при наименьшем пределе измерений, соответствующем наибольшей чувствительности миллиамперметра (пределом измерения называется значение измеряемой величины при полном отклонении стрелки прибора).

Наименьший предел измерения тока при универсальном шунте обычно определяется из условия

$$I_1 \approx \frac{I_0}{0,5 \div 0,9}. \quad (4)$$

Величину коэффициента 0,5 ÷ 0,9 выбирают с таким расчетом, чтобы значение тока I_1 было кратно целому (удобному для отсчета) числу, например 1, 2, 5, 10, 100, 200 и т. д. Это значение тока желательно выбирать возможно меньшим.

Полное сопротивление универсального шунта определяется по формуле

$$R_{ш.\,общ} = \frac{R_i}{\frac{I_1}{I_0} - 1}. \quad (5)$$

Обозначая через I_2, I_3 и I_4 другие пределы измерений, получим выражения для расчета сопротивлений $R_{ш1}$, $R_{ш2}$, $R_{ш3}$ и $R_{ш4}$:

$$R_{ш4} = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{I_4}; \quad (6)$$

$$R_{ш3} = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{I_3} - R_{ш4}; \quad (7)$$

$$R_{ш2} = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{I_2} - R_{ш3} - R_{ш4}; \quad (8)$$

$$R_{ш1} = R_{ш.общ} - R_{ш2} - R_{ш3} - R_{ш4}. \quad (9)$$

Пример 2. Рассчитать универсальный шунт к гальванометру для четырех пределов измерений так, чтобы каждый последующий предел был в 10 раз больше предыдущего.

В данном примере (как и во всех последующих) расчет миллиамперметра проводится, исходя из параметров имеющегося гальванометра. Случай определения параметров гальванометра на основании требуемых пределов измерения тока менее интересен и нами не рассматривается.

Гальванометр имеет сопротивление рамки $R_i = 1\,500$ *ом* и ток полного отклонения стрелки $I_0 = 150 \cdot 10^{-6}$ *а*.

По формуле (4) определяем наименьший предел измерения

$$I_1 = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{0,75} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ а}.$$

Тогда пределы измерения I_2, I_3 и I_4 будут соответственно равны 2, 20 и 200 *ма*.

По формулам (5) — (9) определяем сопротивления универсального шунта:

$$R_{ш.общ} = \frac{1\,500}{\frac{200\cdot 10^{-6}}{150\cdot 10^{-6}} - 1} = 4\,500 \text{ ом};$$

$$R_{ш4} = \frac{150\cdot 10^{-6}(1\,500 + 4\,500)}{200\cdot 10^{-3}} = 4{,}5 \text{ ом};$$

$$R_{ш3} = \frac{150\cdot 10^{-6}(1\,500 + 4\,500)}{20\cdot 10^{-3}} - 4{,}5 = 40{,}5 \text{ ом};$$

$$R_{ш2} = \frac{150\cdot 10^{-6}(1\,500 + 4\,500)}{2\cdot 10^{-3}} - 40{,}5 - 4{,}5 = 405 \text{ ом};$$

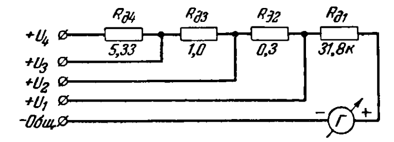
$$R_{ш1} = 4\,500 - 405 - 40{,}5 - 4{,}5 = 4\,050 \text{ ом}.$$

РАСЧЕТ СХЕМЫ МНОГОШКАЛЬНОГО ВОЛЬТМЕТРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вольтметр постоянного тока представляет собой гальванометр с последовательно включенным добавочным сопротивлением $R_д$, рассчитываемым по формуле

$$R_д = \frac{U}{I_0} - R_i, \qquad (10)$$

где U — напряжение, при котором стрелка гальванометра должна отклоняться на всю шкалу, т. е. предел измерения.



Фиг. 3. Схема многопредельного вольтметра постоянного тока.

Для каждого предела измерения требуется свое добавочное сопротивление (фиг. 3). Расчет добавочных сопротивлений производится по формулам:

$$R_{д1} = \frac{U_1 - I_0 R_i}{I_0}; \qquad (11)$$

$$R_{д2} = \frac{U_2 - U_1}{I_0}; \qquad (12)$$

$$R_{\partial 3} = \frac{U_3 - U_2}{I_0}; \quad (13)$$

$$R_{\partial 4} = \frac{U_4 - U_3}{I_0}, \quad (14)$$

где U_1, U_2, U_3 и U_4 — заданные пределы измерений. Надо иметь в виду, что $U_1 < U_2 < U_3 < U_4$.

Пример 3. Рассчитать вольтметр с пределами измерений 5, 50, 200 и 1 000 *в*.

Гальванометр имеет сопротивление рамки $R_i = 1\,500$ *ом* и ток полного отклонения стрелки $I_0 = 150 \cdot 10^{-6}$ *а*.

По формулам (11)—(14) определяем:

$$R_{\partial 1} = \frac{5 - 150 \cdot 10^{-6} \cdot 1\,500}{150 \cdot 10^{-6}} = 31{,}8 \cdot 10^3 \text{ ом};$$

$$R_{\partial 2} = \frac{50 - 5}{150 \cdot 10^{-6}} = 300 \cdot 10^3 \text{ ом};$$

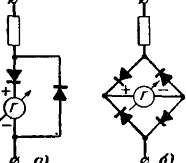
$$R_{\partial 3} = \frac{200 - 50}{150 \cdot 10^{-6}} = 10^6 \text{ ом};$$

$$R_{\partial 4} = \frac{1\,000 - 200}{150 \cdot 10^{-6}} = 5{,}33 \cdot 10^{-6} \text{ ом}.$$

РАСЧЕТ СХЕМЫ МНОГОШКАЛЬНОГО ВОЛЬТМЕТРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для измерения переменных напряжений последовательно с гальванометром включаются купроксные вентили, выпрямляющие переменный ток.

Выпрямитель в вольтметре может быть осуществлен по схемам фиг. 4. Наиболее часто применяется схема однополупериодного выпрямителя с обратным купроксным вентилем (фиг. 4,*а*).



Фиг. 4. Схемы вольтметров переменного тока.

Мостовая схема (фиг. 4,*б*) позволяет получить в 2 раза больший выпрямленный ток, но зато требует четыре купроксных вентиля.

Шкала прибора, содержащего купроксный вентиль, получается неравномерной. Объясняется это отсутствием пропорциональности между амплитудой переменного напряжения и выпрямленным током.

При расчете вольтметров переменного тока нельзя пользоваться формулами, приведенными в предыдущем параграфе, так как выпрямленный постоянный ток не равен действующему значению переменного тока. Для схемы фиг. 4,*а* действующее значение переменного тока в 2,22 раза, а для схемы фиг. 4,*б* — в 1,11 раз больше, чем выпрямленный постоянный ток. Указанные соотношения токов справедливы только при таких вентилях, сопротивление которых в одном направлении равно нулю, а в другом — бесконечно большой величине.

Купроксные вентили обладают малым сопротивлением в одном направлении и большим (но не бесконечным) — в другом. Установлено, что для купроксных вентилей указанные соотношения будут в K раз больше, где $K = 1{,}05 \div 1{,}15$, в зависимости от качества применяемого купроксного вентиля.

Добавочные сопротивления к вольтметру можно определить по формулам (11) — (14), если вместо тока полного отклонения гальванометра I_0 подставлять действующие значения переменного тока, соответствующего полному отклонению стрелки гальванометра при включении его в ту или иную схему с купроксными вентилями. Считая, что $K = 1{,}1$, действующее значение переменного тока при полном отклонении стрелки для схемы фиг. 4,*а* будет равно 2,44 I_0, а для схемы фиг. 4,*б* — 1,22 I_0. В этом случае расчет добавочных сопротивлений можно проводить по формулам (10) — (14), где значение I_0 необходимо умножить на 2,44 в случае схемы со встречным купроксным вентилем и на 1,22 в случае мостовой схемы.

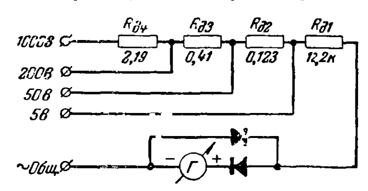
Необходимо учесть, что расчетные значения добавочных сопротивлений к вольтметру переменного тока получаются приблизительными. Это объясняется тем, что купроксные вентили бывают разного качества и коэффициент K у них может быть различным. Более точно величины добавочных сопротивлений подбирают при регулировке вольтметра.

Вследствие относительно большой емкости купроксные вентили плохо работают на высокой частоте. Вольтметр, содержащий купроксные вентили, дает правильные показания только при измерении напряжений, частота которых не выше 8—10 *кгц*; на более высоких частотах его показания будут заниженными.

В настоящее время нашей промышленностью выпускаются германиевые кристаллические диоды, которые с успехом могут быть применены в вольтметрах перемен-

ного тока. Германиевые диоды имеют очень малые емкости и поэтому могут работать на очень высоких частотах (порядка 100 *мггц*).

Пример 4. Рассчитать добавочные сопротивления к вольтметру переменного тока, собранному по схеме фиг. 5, при данных примера 3:



Фиг. 5. Схема многопредельного вольтметра переменного тока.

$$R_{д1}=\frac{5-2{,}44\cdot 150\cdot 10^{-6}\cdot 1\,500}{2{,}44\cdot 150\cdot 10^{-6}}=12{,}2\cdot 10^{3}\ \textit{ом};$$

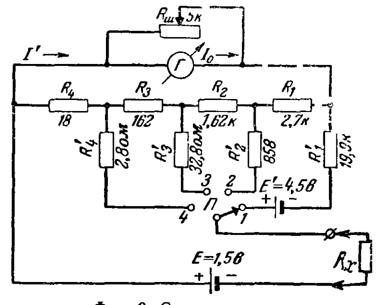
$$R_{д2}=\frac{50-5}{2{,}44\cdot 150\cdot 10^{-6}}=123\cdot 10^{3}\ \textit{ом};$$

$$R_{д3}=\frac{200-50}{2{,}44\cdot 150\cdot 10^{-6}}=410\cdot 10^{3}\ \textit{ом};$$

$$R_{д4}=\frac{1\,000-200}{2{,}44\cdot 150\cdot 10^{-6}}=2{,}19\cdot 10^{6}\ \textit{ом}.$$

РАСЧЕТ СХЕМЫ ОММЕТРА

Типовая схема омметра приведена на фиг. 6. В этой схеме $R_ш$ — переменное сопротивление, шунтирующее



Фиг. 6. Схема омметра.

гальванометр и служащее для установки нуля омметра, R_1, R_2, R_3 и R_4 — сопротивления универсального шунта; R_1', R_2', R_3' и R_4' — добавочные сопротивления омметра; R_x — измеряемое сопротивление; E — напряжение батареи; E' — напряжение добавочной батареи, которая позволяет расширить пределы измерения в сторону больших сопротивлений; $П$ — переключатель и $Г$ — гальванометр.

Вследствие того что при установке нуля омметра параллельно гальванометру подключается шунт $R_ш$, значения сопротивлений универсального шунта будут отличны от приведенных при расчете миллиамперметра.

При расчете омметра должны быть известны сопротивление рамки гальванометра R_i, ток полного отклонения стрелки гальванометра I_0 и э. д. с. батарей E и E'. Соотношение $\frac{E'}{E}$ обычно выбирают равным $1 \div 5$.

Сопротивление шунта $R_ш$ определяется из условия

$$R_ш = (3 \div 6)\, R_i\,. \tag{15}$$

Для простоты расчета вначале определяют три вспомогательные величины:

$$R_{ш.ср} = \frac{1}{2} R_ш; \tag{16}$$

$$R_i' = \frac{R_{ш.ср} R_i}{R_{ш.ср} + R_i} \tag{17}$$

и

$$I' = I_0 \left(1 + \frac{R_i}{R_{ш.ср}}\right), \tag{18}$$

где R_i' — общее сопротивление $R_{ш.ср}$ и R_i, включенных параллельно;

I' — ток, протекающий через R_i' при полном отклонении стрелки гальванометра.

Полное сопротивление универсального шунта $R_{ш.общ}$, равное $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$, выбирается так же, как и при расчете универсального шунта миллиамперметра, т. е. по формулам (4) и (5).

Добавочное сопротивление на самой высокоомной шкале омметра определяется по формуле

$$R_1' = \frac{E' + E - I' R_i'}{\frac{I' R_i'}{R_{ш.общ}} + I'} . \qquad (19)$$

Для многошкального омметра все шкалы должны быть кратными. Это позволяет производить отсчеты всегда по одной и той же шкале, умножая показания ее на соответствующие коэффициенты, обычно равные 1, 10, 100 и т. д.

Тогда дальнейший расчет производится по формулам:

$$R_I = R_{ш.общ} - \frac{I'}{10E}(R_i' + R_{ш.общ})\left(R_I' + \frac{R_{ш.общ} R_i'}{R_{ш.общ} + R_i'}\right); \qquad (20)$$

$$R_2' = 0{,}1\left(R_I' + \frac{R_{ш.общ} R_i'}{R_{ш.общ} + R_i'}\right) - \frac{(R_{ш.общ} - R_I)(R_1 + R_i')}{R_{ш.общ} + R_i'}; \qquad (21)$$

$$R_2 = R_{ш.общ} - R_I - \frac{I'}{100E}(R_i' + R_{ш.общ})\left(R_I' + \frac{R_{ш.общ} R_i'}{R_{ш.общ} + R_i'}\right); \qquad (22)$$

$$R' = 0{,}01\left(R_I' + \frac{R_{ш.общ} R_i'}{R_{ш.общ} + R_i'}\right) - \frac{(R_{ш.общ} - R_1 - R_2)(R_1 + R_2 + R_i')}{R_{ш.общ} + R_i'}; \qquad (23)$$

$$R_4 = \frac{I'}{1\,000E}\left(R_I' + \frac{R_{ш\,общ} R_i'}{R_{ш.общ} + R_i}\right)(R_{ш.общ} + R_i'); \qquad (24)$$

$$R_4' = 0{,}001\left(R_I' + \frac{R_{ш.общ} R_i'}{R_{ш\,общ} + R_i'}\right) - \frac{R_4 (R_{ш.общ} - R_4 + R_i')}{R_{ш.общ} + R_i'}; \qquad (25)$$

$$R_3 = R_{ш.общ} - R_I - R_2 - R_4. \qquad (26)$$

Практически измерения можно производить в следующих пределах:

на первой шкале от $0{,}1\,R_I'$ до $10\,R_I'$;

на второй шкале от $0{,}1\,R_2'$ до $10\,R_2'$;

на третьей шкале от $0{,}1\,R_3'$ до $10\,R_3'$;

на четвертой шкале от $0{,}1\,R_4'$ до $10\,R_4'$.

Если окажется, что сумма сопротивлений $R'_4 + R_4$ настолько мала, что ток

$$I = \frac{E}{R_4 + R_4}$$

значительно превосходит максимальный разрядный ток батареи, то измерение сопротивлений в четвертом положении переключателя Π производить нельзя. В этом случае надо исключить четвертое положение переключателя Π и сопротивление R'_4, а сопротивления R_4 и R_3 объединить в одно. Такой случай возможен при применении гальванометра с малой чувствительностью.

Пример 5. Рассчитать все сопротивления к омметрам по схеме фиг. 6. При расчете надо учесть, что каждая последующая шкала должна измерять сопротивления в 10 раз большие, чем предыдущая. При измерении могут быть использованы две батареи: $E = 1{,}5$ *в* и $E' = 4{,}5$ *в*.

Гальванометр имеет сопротивление рамки $R_i = 1\,500$ *ом* и ток полного отклонения стрелки $I_0 = 150 \cdot 10^{-6}$ *а*.

По формуле (15) выбираем сопротивление шунта $R_ш = 5\,000$ *ом*.

Определяем вспомогательные величины по формулам (16), (17) и (18):

$$R_{ш.ср} = 2\,500 \text{ ом};$$

$$R'_i = \frac{2\,500 \cdot 1\,500}{2\,500 + 1\,500} = 940 \text{ ом};$$

$$I' = 150 \cdot 10^{-6}\left(1 + \frac{1\,500}{2\,500}\right) = 240 \cdot 10^{-6} \text{ а}.$$

Определяем сопротивления в схеме омметра по формулам (4), (5) без учета $R_ш$ и по формулам (19) — (26) с учетом $R_ш$:

$$I_1 = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{0{,}75} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ а};$$

$$R_{ш.общ} = \frac{1\,500}{\frac{200 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^{-6}} - 1} = 4\,500 \text{ ом};$$

$$R'_1 = \frac{4{,}5 + 1{,}5 - 240 \cdot 10^{-6} \cdot 940}{\frac{240 \cdot 10^{-6} \cdot 940}{4\,500} + 240 \cdot 10^{-6}} = 19\,900 \text{ ом};$$

$$R_1 = 4\,500 - \frac{240 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 1{,}5}(940 + 4\,500) \cdot \left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right) = 2\,700 \text{ ом};$$

$$R'_2 = 0.1\left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right) - \frac{(4\,500 - 2\,700)(2\,700 + 940)}{4\,500 + 940} =$$

$$= 858 \text{ ом};$$

$$R_2 = 4\,500 - 2\,700 - \frac{240 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 1{,}5}(940 + 4\,500)\left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right) = 1\,620 \text{ ом};$$

$$R_3' = 0{,}1\left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right) - \frac{(4\,500 - 2\,700 - 1\,620)(2\,700 + 1\,620 + 940)}{4\,500 + 940} = 32{,}8 \text{ ом};$$

$$R_4 = \frac{240 \cdot 10^{-6}}{1\,000 \cdot 1{,}5}\left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right)(4\,500 + 940) = 18 \text{ ом};$$

$$R_4' = 0{,}001\left(19\,900 + \frac{4\,500 \cdot 940}{4\,500 + 940}\right) - \frac{18\,(4\,500 - 18 + 940)}{4\,500 + 940} = 2{,}8 \text{ ом};$$

$$R_3 = 4\,500 - 2\,700 - 1\,620 - 18 = 162 \text{ ом}.$$

Полученное значение сопротивления R_4' практически уменьшают, так как при расчете не учитывалось внутреннее сопротивление батареи U, соизмеримое с сопротивлением R_4'. Точное значение сопротивления R_4' необходимо подобрать при регулировке.

РАСЧЕТ СХЕМЫ АВОМЕТРА

Схем авометров известно очень много. Наибольшее распространение получили приборы с универсальным шунтом. На фиг. 7 приведена схема авометра, представляющая собой сочетание схем многошкальных вольтметра, амперметра и омметра. Такой прибор позволяет измерять сопротивления, постоянный ток, постоянное и переменное напряжения. Порядок расчета схемы следующий.

Сначала по формулам (4) и (5) определяется величина сопротивления универсального шунта, который в этой схеме используется как при измерении токов, так и при измерении сопротивлений.

Затем по формулам (15)—(26) рассчитываются отдельные сопротивления универсального шунта и добавочные сопротивления, предназначенные для работы в схеме омметра.

Для измерения токов и сопротивлений используются одни и те же отводы от сопротивлений универсального шунта, что значительно упрощает его конструкцию. В этом случае пределы для измерения токов определяются по формулам:

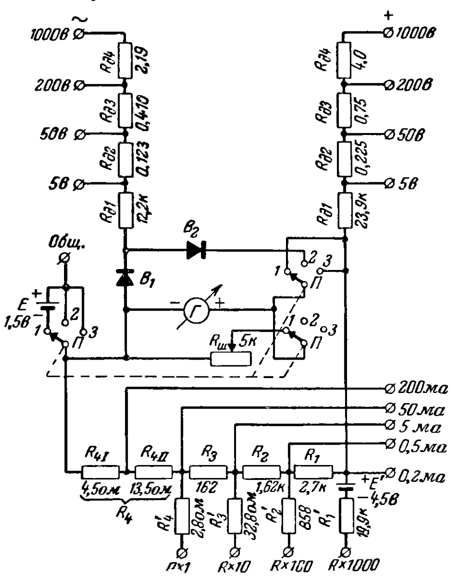
$$I_1 = I_0\left(1 + \frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right); \qquad (27)$$

$$I_2 = \frac{I_0\,(R_i + R_{ш.общ})}{R_2 + R_3 + R_4}; \qquad (28)$$

$$I_3 = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{R_3 + R_4};$$ (29)

$$I_4 = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{R_4}.$$ (30)

Если требуется получить пределы измерения тока бо́льшие, чем I_4, то нужно сопротивление R_4 составить



Фиг. 7. Схема авометра.

из двух сопротивлений $R_{4\,I}$ и $R_{4\,II}$ и сделать отвод от места их соединения (фиг. 7). Тогда

$$R_{4\,I} = \frac{I_0 (R_i + R_{ш.общ})}{I_5}$$ (31)

и

$$R_{4\,II} = R_4 - R_{4\,I},$$ (32)

где I_5 — заданный предел измерения тока, превышающий ток I_4.

Полученные пределы измерения, соответствующие токам I_2, I_3 и I_4, будут кратны десяти. Ток I_5 выбирается произвольно, а ток I_1 не кратен десяти, но, как указывалось выше, его величина равна целому числу, удобному для отсчета.

При использовании прибора в качестве вольтметра постоянного тока для упрощения коммутации универсальный шунт остается подключенным параллельно к гальванометру (фиг. 7). Поэтому добавочное сопротивление к вольтметру постоянного тока рассчитывается по формулам (11)—(14), но в знаменатели этих формул вместо тока I_0 подставляют ток $I_0\left(1+\frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right)$.

Тогда:

$$R_{д1}=\frac{U_1-I_0R_i}{I_0\left(1+\frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{33}$$

$$R_{д2}=\frac{U_2-U_1}{I_0\left(1+\frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{34}$$

$$R_{д3}=\frac{U_3-U_2}{I_0\left(1+\frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{35}$$

$$R_{д4}=\frac{U_4-U_3}{I_0\left(1+\frac{R_i}{R_{ш.общ}}\right)}. \tag{36}$$

Для измерения напряжений переменного тока в схеме авометра имеются купроксные вентили B_1 и B_2 и цепочка добавочных сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$, $R_{д3}$ и $R_{д4}$.

При расчете добавочных сопротивлений к вольтметру переменного тока для схемы фиг. 7 учитывать сопротивление универсального шунта не надо, так как он отключается от гальванометра. Поэтому расчет сопротивлений $R_{д1}$, $R_{д2}$, $R_{д3}$ и $R_{д4}$ производится по формулам (11)—(14) с учетом замечаний, сделанных на стр. 10.

Пример 6. Рассчитать авометр с пределами измерения для напряжений постоянного и переменного тока 5, 50, 200 и 1 000 *в*. Предел измерения постоянных токов должен быть не ниже 200 *ма*. Измерение сопротивлений должно производиться на четырех пределах измерения. При расчете надо учесть, что на каждой последующей шкале необходимо измерять сопротивления, в 10 раз бо́льшие, чем на предыдущей. Авометр содержит две батареи: $E=1{,}5$ *в* и $E'=4{,}5$ *в*, два купроксных вентиля и гальванометр с сопротивлением рамки $R_i = 1\,500$ *ом* и током полного отклонения стрелки $I_0=150\cdot10^{-6}$ *а*.

Схема, обеспечивающая предъявленные требования, показана на фиг. 7.

Расчет схемы авометра производится в следующей последовательности.

Сначала рассчитывается омметр с универсальным шунтом по формулам (4), (5) и (15) — (26). Для этого случая расчет был произведен в примере 5 и мы его повторять не будем. Приведем лишь полученные результаты:

$$R_ш=5\,000 \text{ ом};\quad R_1=2\,700 \text{ ом};\quad R_2=1\,620 \text{ ом};$$

$$R_3=162 \text{ ом};\quad R_4=18 \text{ ом};\quad R_1'=19\,900 \text{ ом};$$

$$R_2'=858 \text{ ом};\quad R_3'=32{,}8 \text{ ом};\quad R_4'=2{,}8 \text{ ом};$$

$$R_{ш\,общ}=4\,500 \text{ ом}.$$

Затем определяются пределы измерения тока при использовании различных участков универсального шунта по формулам (27)—(30):

$$I_1=150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500}{4\,500}\right)=0{,}2\cdot10^{-3} \text{ а};$$

$$I_2=\frac{150\cdot10^{-6}(1\,500+4\,500)}{1\,620+162+18}=0{,}5\cdot10^{-3} \text{ а};$$

$$I_3=\frac{150\cdot10^{-6}(1\,500+4\,500)}{162+18}=5\cdot10^{-3} \text{ а};$$

$$I_4=\frac{150\cdot10^{-6}(1\,500+4\,500)}{18}=50\cdot10^{-3} \text{ а}.$$

Для увеличения предела измерения тока до 200 *ма* (I_5) сопротивление R_4 разделено на два: $R_{4\,I}$ и $R_{4\,II}$, каждое из которых определяется по формулам (31) и (32):

$$R_{4\,I}=\frac{150\cdot10^{-6}(1\,500+4\,500)}{200\cdot10^{-3}}=4{,}5 \text{ ом};$$

$$R_{4\,II}=18-4{,}5=13{,}5 \text{ ом}.$$

Далее определяются добавочные сопротивления к вольтметру постоянного тока по формулам (33) — (36):

$$R_{д1}=\frac{5-150\cdot10^{-6}\cdot1\,500}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500}{4\,500}\right)}=23{,}9\cdot10^{3} \text{ ом};$$

$$R_{д2}=\frac{50-5}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500}{4\,500}\right)}=225\cdot10^{3} \text{ ом};$$

$$R_{\partial 3}=\frac{200-50}{150\cdot 10^{-6}\left(1+\frac{1\,500}{4\,500}\right)}=750\cdot 10^{3}\ \text{ом};$$

$$R_{\partial 4}=\frac{1\,000-200}{150\cdot 10^{-6}\left(1+\frac{1\,500}{4\,500}\right)}=4\cdot 10^{6}\ \text{ом}.$$

Наконец, определяются добавочные сопротивления к вольтметру переменного тока. Для заданных пределов измерения расчет уже проделан в примере 4 и мы его повторять не будем. Приведем лишь полученные результаты:

$$R_{\partial 1}=12{,}2\cdot 10^{3}\ \text{ом};\qquad R_{\partial 2}=123\cdot 10^{3}\ \text{ом};$$

$$R_{\partial 3}=410\cdot 10^{3}\ \text{ом};\qquad R_{\partial 4}=2{,}19\cdot 10^{6}\ \text{ом}.$$

Более точные величины добавочных сопротивлений при измерении напряжений переменного тока подбираются при градуировке прибора.

РАСЧЕТ СХЕМЫ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРА

Вольтамперметр является по существу рассмотренной нами частью схемы авометра. Но схема вольтамперметра выгодно отличается от схемы авометра простотой коммутации. Как видно из схемы, изображенной на фиг. 8, для осуществления всех переключений в вольтамперметре достаточно иметь один однополюсный переключатель *П*.

Фиг. 8. Схема вольтамперметра.

При расчете схемы вольтамперметра вначале необходимо определить добавочное сопротивление на самой чувствительной шкале вольтметра:

$$R_{\partial 1}=\frac{U_1-I_0R_i}{I_0},\qquad (37)$$

где U_1 — наименьший предел измерения напряжений.

Затем рассчитывается наименьший предел измерения тока по формуле (4).

Общее сопротивление универсального шунта

$$R_{ш\,общ} = R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} + R_{ш4} + R_{ш5} + R_{ш6}$$

определяется по формуле

$$R_{ш.общ} = \frac{R_i + R_{д1}}{\frac{I_1}{I_0} - 1}. \tag{38}$$

Далее рассчитываются величины сопротивлений, входящих в универсальный шунт:

$$R_{ш6} = \frac{I_0 (R_i + R_{д1} + R_{ш.общ})}{I_6}; \tag{39}$$

$$R_{ш5} = \frac{I_0 (R_i + R_{д1} + R_{ш.общ})}{I_5} - R_{ш6}; \tag{40}$$

$$R_{ш4} = \frac{I_0 (R_i + R_{д1} + R_{ш.общ})}{I_4} - R_{ш6} - R_{ш5}; \tag{41}$$

$$R_{ш3} = \frac{I_0 (R_i + R_{д1} + R_{ш.общ})}{I_3} - R_{ш6} - R_{ш5} - R_{ш4}; \tag{42}$$

$$R_{ш2} = \frac{I_0 (R_i + R_{д1} + R_{ш.общ})}{I_2} - R_{ш6} - R_{ш5} - R_{ш4} - R_{ш3}; \tag{43}$$

$$R_{ш1} = R_{ш.общ} - R_{ш2} - R_{ш3} - R_{ш4} - R_{ш5} - R_{ш6}. \tag{44}$$

Как видно из схемы фиг. 8, при работе прибора в качестве вольтметра универсальный шунт остается подключенным параллельно гальванометру с добавочным сопротивлением $R_{д1}$. Поэтому добавочные сопротивления к вольтметру рассчитываются по формулам, учитывающим сопротивления $R_{ш.общ}$ и $R_{д1}$:

$$R_{д2} = \frac{U_2 - U_1}{I_0 \left(1 + \frac{R_i + R_{д1}}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{45}$$

$$R_{д3} = \frac{U_3 - U_2}{I_0 \left(1 + \frac{R_i + R_{д1}}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{46}$$

$$R_{д4} = \frac{U_4 - U_3}{I_0 \left(1 + \frac{R_i + R_{д1}}{R_{ш.общ}}\right)}; \tag{47}$$

$$R_{\partial 5} = \frac{U_5 - U_4}{I_0\left(1 + \frac{R_i + R_{\partial 1}}{R_{ш.общ}}\right)}; \quad (48)$$

$$R_{\partial 6} = \frac{U_6 - U_5}{I_0\left(1 + \frac{R_i + R_{\partial 1}}{R_{ш.общ}}\right)}, \quad (49)$$

где U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 и U_6 — пределы измерения напряжения на разных шкалах.

Рассмотренная схема очень удобна в изготовлении и эксплуатации.

Пример 7. Рассчитать вольтамперметр с пределами измерений напряжений 3, 10, 30, 100, 300 и 1 000 *в* и тока до 0,5 *а*. Наименьший предел измерения токов определяется из параметров гальванометра, который имеет сопротивление рамки $R_i = 1\,500$ *ом* и ток полного отклонения стрелки $I_0 = 150 \cdot 10^{-6} a$.

По формуле (37)

$$R_{\partial 1} = \frac{3 - 150 \cdot 10^{-6} \cdot 1\,500}{150 \cdot 10^{-6}} = 18\,500 \text{ ом}.$$

По формуле (4)

$$I_1 = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{0{,}75} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ а}.$$

Учитывая, что наибольший предел измерения тока I_6 должен составлять 0,5 *а*, примем, что $I_2 = 1$ *ма*, $I_3 = 5$ *ма*, $I_4 = 20$ *ма* и $I_5 = 100$ *ма*.

По формуле (38)

$$R_{ш.общ} = \frac{1\,500 + 18\,500}{\frac{200 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^{-6}} - 1} = 60 \cdot 10^3 \text{ ом}.$$

По формулам (39) — (44):

$$R_{ш6} = \frac{150 \cdot 10^{-6}(1\,500 + 18\,500 + 60\,000)}{500 \cdot 10^{-3}} = 24 \text{ ом};$$

$$R_{ш5} = \frac{150 \cdot 10^{-6}(1\,500 + 18\,500 + 60\,000)}{100 \cdot 10^{-3}} - 24 = 96 \text{ ом};$$

$$R_{ш4} = \frac{150 \cdot 10^{-6}(1\,500 + 18\,500 + 60\,000)}{20 \cdot 10^{-3}} - 24 - 96 = 480 \text{ ом};$$

$$R_{ш3} = \frac{150 \cdot 10^{-6}(1\,500 + 18\,500 + 60\,000)}{5 \cdot 10^{-3}} - 24 - 96 - 480 = 1\,800 \text{ ом};$$

$$R_{ш2} = \frac{150 \cdot 10^{-6}(1\,500 + 18\,500 + 60\,000)}{10^{-3}} - 24 - 96 - 480 - 1\,800 = 9\,600 \text{ ом};$$

$$R_{ш1} = 60\,000 - 9\,600 - 1\,800 - 480 - 94 - 24 = 48\,000 \text{ ом}.$$

По формулам (45) — (49):

$$R_{д2}=\frac{10-3}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500+18\,500}{60\cdot10^{3}}\right)}=35\cdot10^{3}\ ом;$$

$$R_{д3}=\frac{30-10}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500+18\,500}{60\cdot10^{3}}\right)}=100\cdot10^{3}\ ом;$$

$$R_{д4}=\frac{100-30}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500+18\,500}{60\cdot10^{3}}\right)}=350\cdot10^{3}\ ом;$$

$$R_{д5}=\frac{300-100}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500+18\,500}{60\cdot10^{3}}\right)}=10^{6}\ ом;$$

$$R_{д6}=\frac{1\,000-300}{150\cdot10^{-6}\left(1+\frac{1\,500+18\,500}{60\cdot10^{3}}\right)}=3{,}5\cdot10^{6}\ ом.$$

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

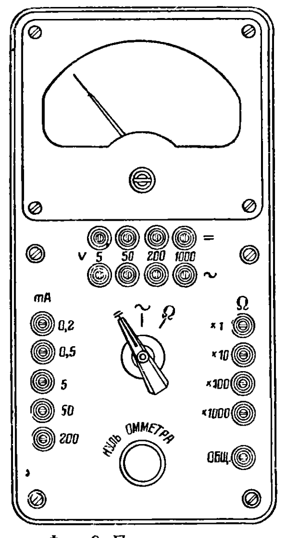
Любой из указанных выше измерительных приборов можно смонтировать в небольшом ящике, на крышке которого размещаются гальванометр, переключатель, переменное сопротивление для установки нуля омметра и выводные зажимы или гнезда. Добавочные сопротивления к вольтметру, сопротивления универсального шунта и батареи для омметра помещаются внутри ящика.

Многие конструкции авометров описывались в журнале «Радио» и в отдельных брошюрах (см. стр. 32). Наиболее подходящей для схемы авометра на фиг. 7 является конструкция тестера типа ТТ-1. Передняя панель такого прибора с пределами измерений, соответствующими схеме фиг. 7, изображена на фиг. 9.

Сопротивления для многопредельного измерительного прибора необходимо подбирать очень тщательно, помня, что чем ближе будут величины отобранных сопротивлений к расчетным, тем точнее окажутся показания прибора. Ни в коем случае нельзя устанавливать сопротивления типа ВС без проверки их величины, если даже их номинальное значение равно расчетному. Сопротивления типа ВС имеют допуск на величину от 5 до 20%, что затрудняет их применение в измерительных приборах. Все сопротивления для измерительного прибора необходимо проверять на измерительном мосте или путем сравнения с калиброванным магазином сопротивлений.

Сопротивления можно подобрать наиболее точно, если они изготовлены из проволоки. Отматывая витки, можно подобрать величину сопротивления, равную заданной, причем точность подбора будет определяться точностью измерительного моста.

Преимуществом проволочных сопротивлений является также их стабильность при изменении температуры. Если сопротивления типа ВС меняют свою величину до 4% при изменении температуры от 0 до 20° С, то сопротивление, намотанное из константана, при тех же температурных условиях меняет свою величину только на 0,008%, а сопротивление, намотанное из манганина, изменяется еще меньше. Никелин в этом случае дает несколько худшие результаты (0,04%).



Фиг. 9. Передняя панель многопредельного авометра.

Универсальный шунт для авометра необходимо делать из проволочных сопротивлений не только потому, что это повышает точность подбора сопротивлений и их стабильность, но и потому, что в универсальном шунте применяются сопротивления малых значений, которых нет среди непроволочных сопротивлений.

При выборе диаметра провода для универсального шунта учитывают величину тока, протекающего через данный участок шунта. Универсальный шунт изготовляют из ряда сопротивлений, намотанных проводом разного диаметра. При расчете плотность тока, протекающего через сопротивление, надо принимать не более 1,5 *а/мм²* для проводов с изоляцией. В табл. 1 указаны наименьшие диаметры провода, допустимые для применения в универсальном шунте.

Для изготовления шунтов на ток более 5 *а* применяют голый провод без изоляции. В этом случае шунт представ-

Ток, *а*	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	2	3	5
Наименьший диаметр провода без изоляции, *мм*	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,3	1,5	2

ляет собой бескаркасную катушку из толстого провода, намотанную так, чтобы витки не могли касаться друг друга. Диаметр провода для шунтов к приборам с пределами измерения выше 5 *а* должен быть более 1,5 *мм*.

Изготавливая проволочное сопротивление, вначале на катушку наматывают столько провода, чтобы величина сопротивления была примерно на 2—3% больше нужного значения. После измерения полученного сопротивления сматывают несколько витков проволоки до получения сопротивления необходимой величины. Витки необходимо сматывать постепенно, каждый раз измеряя величину сопротивления на мосте.

Для ориентировки при намотке сопротивлений можно пользоваться данными табл. 2, в которой указаны сопротивления 1 *м* провода при различных диаметрах и типах проводов.

Добавочные сопротивления к вольтметру имеют большие значения и делать их из проволоки часто не представляется возможным.

Ставя вместо проволочных сопротивлений сопротивления типа ВС, последние необходимо подбирать при помощи измерительного моста так, чтобы величина подобранного сопротивления отличалась не более чем на 1% от расчетного значения.

При использовании непроволочных сопротивлений необходимо учитывать мощность рассеяния, допустимую для данного типа сопротивлений. В измерительных приборах сопротивления должны иметь не менее, чем двукратный запас по мощности рассеяния.

Мощность, рассеиваемая на сопротивлении, определяется по формуле

$$P = \frac{\Delta U^2}{R},$$

где ΔU — падение напряжения на сопротивлении R.

Пример 8. Определить номинальную мощность рассеяния на сопротивлении $R_{д4}$ в примере 4:

$$P = \frac{(1\,000 - 200)^2}{2{,}19 \cdot 10^6} \approx 0{,}3 \text{ вт}.$$

Сопротивления ВС изготавливаются на номинальные мощности рассеяния 0,25, 0,5, 1 и 2 *вт*. Поэтому для получения не менее двукратного запаса по мощности рассеяния на сопротивление $R_{д4}$ нужно взять сопротивление ВС, рассчитанное на мощность в 1 *вт*.

Применяя изолированную проволоку, сопротивление можно намотать на любом каркасе из изоляционного материала. Способ намотки проволочного сопротивления не имеет значения. При отсутствии изолированной проволоки небольшие сопротивления можно изготовлять из голой проволоки, наматывая ее на стержень или пластинку из изоляционного материала. Намотка должна производиться так, чтобы соседние витки не касались друг друга. В качестве каркасов для намотки шунтов могут служить сопротивления типа ВС, причем концы проводов припаивают к выводам этих сопротивлений. Сопротивления, служащие каркасом для намотки, должны иметь номинальное значение более мегома, так как они подключаются параллельно шунту.

Добавочные сопротивления к вольтметру при чувствительных гальванометрах и больших пределах измерения напряжений могут иметь очень большие значения (десятки мегом). В таких случаях необходимо проверить качество материала изоляции, на котором крепятся эти сопротивления. При плохом качестве материала сопротивление утечки в изоляторе окажется соизмеримо с

Таблица 2

Диаметр провода без изоляции, *мм*	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,3	1,5	2
	Сопротивление 1 *м* провода, *ом*													
Манганин	54,8	24,3	13,7	6,06	3,42	2,2	1,52	1,12	0,855	0,675	0,548	0,344	0,243	0,137
Константан . . .	62,4	27,7	15,6	6,95	3,9	2,77	1,74	1,27	0,974	0,732	0,624	0,392	0,277	0,156
Никелин	51	22,6	12,7	5,66	3,18	2,04	1,37	1,04	0,795	0,629	0,51	0,301	0,226	0,127

добавочным сопротивлением и показания вольтметра будут искажены. Особенно сильно это бывает заметно при значительной влажности воздуха, так как плохой изолятор впитывает влагу и уменьшает свое сопротивление.

Высокоомные сопротивления и все контакты следует монтировать на керамике, гетинаксе или текстолите. Плохо обработанные (шершавые) поверхности гетинакса и текстолита также могут быть источниками утечек из-за конденсации на них влаги или их загрязнения. Поэтому при изготовлении панели прибора из гетинакса или текстолита следует ограничиться только обработкой краев и сверловкой отверстий. Если же обработка поверхностей необходима, то на обрабатываемую деталь нужно нанести тонкий слой клея БФ-4 и после этого просушить деталь при комнатной температуре. Далее высушенная деталь помещается в печь с температурой 120—140° на 2 часа. Для этого можно использовать духовой шкаф в газовой плите.

Переключатель рода работы вольтамперметра часто бывает источником ошибок при измерении больших напряжений. Причиной этого являются утечки между контактами переключателя. Поэтому при наличии больших пределов измерений лучше переключатель заменять зажимами, как это сделано в авометре, схема которого показана на фиг. 7. Переключатели, не работающие при измерении больших напряжений, могут быть любой конструкции, так как их утечка не влияет на показания прибора.

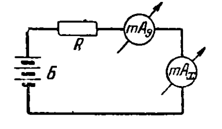
Конструкция крепления батарей, необходимых для работы омметра, должна предусматривать возможность их легкой замены. Обычно в омметрах применяют элементы от батареи типа БАС. Следует предусмотреть контактирующие пружины для установки батарей, обеспечивающие надежные контакты.

РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА МНОГОПРЕДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

После изготовления авометра и проверки величин всех установленных в нем сопротивлений можно приступить к градуировке. Перед градуировкой гальванометр должен быть полностью собран и установлен на свое место. Нельзя градуировать прибор при вынутом из кожуха механизме гальванометра, так как кожух может содержать в себе металлические детали, которые влияют на магнитную систему гальванометра. При градуировке прибор должен быть в рабочем положении.

Для нанесения шкалы омметра необходимо заранее снять стекло с гальванометра. Градуировочные точки на шкале омметра наносят карандашом так, чтобы их можно было удалить при вычерчивании шкалы.

Если прибор правильно рассчитан и сопротивления соответствуют расчетным величинам, то градуировки шкал вольтметра и миллиамперметра постоянного тока не требуется. Можно заранее начертить шкалу для всех пределов измерения и затем только проверить правильность совпадения шкал. При вычерчивании шкалы необходимо, чтобы нуль и верхний предел измерения на старой и новой шкалах точно совпадали друг с другом. Если это условие не выполнено, то, несмотря на правильный расчет и подбор сопротивлений, изготовленный прибор будет давать неверные показания.



Фиг. 10. Схема для проверки миллиамперметров.

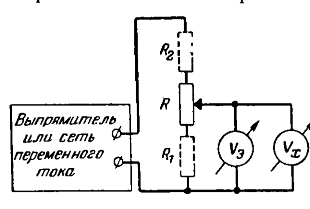
Шкалы омметра и вольтметра переменного тока заранее вычертить нельзя, их необходимо проградуировать.

Проверка правильности показаний миллиамперметра производится по схеме фиг. 10, где mA_x — испытуемый миллиамперметр, а $mA_э$ — эталонный миллиамперметр с пределами измерения не меньшими, чем у испытуемого прибора. Батарея *Б* должна отдавать ток, равный наибольшему значению, на которое рассчитывается испытуемый миллиамперметр.

Сопротивление *R* должно быть сменным: непроволочное переменное сопротивление применять нельзя, так как при измерении больших токов оно сгорит.

Вначале проверяется правильность показаний миллиамперметра на малых пределах измерений тока. Для каждой шкалы миллиамперметра достаточно проверить одну какую-либо точку, так как угол отклонения стрелки магнитоэлектрического прибора линейно зависит от величины тока, проходящего через его рамку. На шкалах с большими пределами измерения (сотни миллиампер и выше) может потребоваться регулировка шунтов, так как они имеют малые сопротивления (единицы ом), которые трудно точно измерить. Регулировка сопротивлений заключается в небольших изменениях длины проволоки, из которой намотан шунт.

Если магнитоэлектрический прибор имеет магнитный шунт, то необходимо до проверки прибора установить шунт в такое положение, когда гальванометр имеет расчетный ток полного отклонения. Для этого гальванометр отключается от схемы многопредельного прибора и включается в схему фиг. 10 в качестве испытуемого прибора mA_x. Сопротивление R подбирается так, чтобы эталонный прибор показал ток, равный расчетному току полного отклонения испытуемого гальванометра, а магнитный шунт устанавливается в положение, при котором стрелка испытываемого гальванометра отклонится на всю шкалу. После этого менять положение магнитного шунта нельзя. Ни в коем случае недопустима регулировка нуля омметра в авометрах при помощи магнитного шунта, так как показания вольтметра и миллиамперметра зависят от его положения.



Фиг. 11. Схема для проверки и градуировки вольтметров.

Проверка правильности 'показаний вольтметра постоянного тока производится по схеме фиг. 11, где $V_э$— эталонный вольтметр, имеющий пределы измерения более широкие, чем у испытуемого вольтметра V_x. Выпрямитель должен давать напряжение не меньше, чем наивысший предел измерения испытуемого вольтметра. Переменное сопротивление (потенциометр) R должно быть рассчитано на мощность не менее $\frac{U^2}{R}$, где U— напряжение выпрямителя. Это сопротивление желательно выбрать таким, чтобы через него проходил ток, в 2—3 раза больший, чем через оба параллельно включенных вольтметра $V_э$ и V_x. В этом случае получается более равномерная регулировка напряжения в зависимости от поворота ручки потенциометра. Если сопротивление R не подходит по мощности, то можно при проверке больших пределов измерения включать последовательно с ним сопротивление R_1, а при проверке малых пределов измерения — сопротивление R_2.

Так же как и у миллиамперметра, шкала вольтметра постоянного тока линейна. Поэтому проверку вольтметра

достаточно производить на каждой из шкал только в одной точке.

Для градуировки вольтметра переменного тока собирается схема фиг. 11; но вместо выпрямителя включается источник переменного напряжения, например сеть переменного тока, если наивысший предел измерения вольтметра не превосходит напряжения сети, или вторичная обмотка повышающего трансформатора. В качестве источника переменного напряжения удобно использовать повышающую обмотку силового трансформатора от выпрямителя. Для получения еще бóльших напряжений можно соединить две повышающие обмотки трансформатора последовательно. Выбор сопротивлений R_1 и R_2 производится так же, как и при проверке вольтметра постоянного тока.

В качестве эталонного вольтметра должен служить вольтметр переменного тока с пределами измерений, превышающими пределы измерения градуируемого вольтметра.

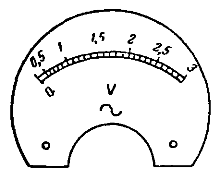
Перед началом градуировки необходимо подобрать добавочное сопротивление к вольтметру на самой чувствительной шкале. Как уже указывалось (стр. 10), расчетные величины добавочных сопротивлений к вольтметру переменного тока являются только приблизительными и требуют уточнения при регулировке.

Регулировка сопротивлений начинается с добавочного сопротивления к самой чувствительной шкале. Руководствуясь показаниями эталонного вольтметра, путем перемещения ползунка потенциометра устанавливают ток полного отклонения стрелки градуируемого вольтметра на самой чувствительной шкале. Если стрелка вольтметра V_x отклонится меньше, чем на всю шкалу, то добавочное сопротивление необходимо уменьшить, и, наоборот, если стрелка зайдет за шкалу, то требуется увеличение добавочного сопротивления. Изменение величины сопротивлений можно производить путем подбора их из ближайших номиналов (для сопротивлений типа ВС) или путем введения последовательно с добавочным сопротивлением небольших проволочных сопротивлений. В последнем случае величину добавочного сопротивления можно подобрать совершенно точно, постепенно уменьшая число витков.

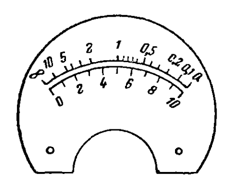
Таким же образом подбирают добавочные сопротивления и на остальных шкалах, начиная с малых пределов измерения.

Градуировка шкалы вольтметра производится путем нанесения рисок на шкалу вольтметра при подаче на него различных напряжений. Пусть, например, градуируется шкала вольтметра, соответствующая 3 *в*. По эталонному прибору устанавливаются последовательно напряжения 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 и 3 *в*. Для каждого напряжения на шкале градуируемого прибора наносится риска и цифра, соответствующая данному напряжению.

На остальных шкалах вольтметра производится только проверка правильности градуировки, так как при тщательной регулировке добавочных сопротивлений шкалы вольтметра отличаются только коэффициентами для перехода с одной шкалы на другую. Типичная шкала вольтмет-



Фиг. 12. Типичная шкала вольтметра переменного тока.



Фиг. 13. Типичная шкала авометра.

ра переменного тока при применении купроксных вентилей показана на фиг. 12.

Градуировка омметра производится по эталонным сопротивлениям. Для правильной градуировки омметра необходим набор различных сопротивлений, величины которых точно измерены при помощи моста. Градуировка начинается со шкалы, предназначенной для измерения самых больших сопротивлений. Установив предварительно нуль омметра при помощи сопротивления $R_ш$ подключают к зажимам омметра сопротивления разной величины. На шкалу прибора наносят риски с указанием величин сопротивлений, соответствующих отклонениям стрелки гальванометра.

При меньших пределах измерений сопротивлений шкалу не градуируют, а только проверяют. При правильном расчете все шкалы омметра должны отличаться друт от друга только переводным коэффициентом.

При низкоомных пределах измерений возможны отклонения показаний омметра. Такие отклонения могут

иметь место из-за влияния внутреннего сопротивления батареи. Подобные отклонения особенно заметны при работе старой батареи. Для подгонки градуировки шкалы при работе на низкоомных пределах измерений допускается регулировка добавочных сопротивлений к омметру (например, сопротивлений R_3' и R_4' в схеме фиг. 6).

Типичная шкала омметра показана на фиг. 13. На этой же шкале нанесены деления для вольтметра постоянного тока и миллиамперметра.

Окончательное нанесение делений производится тушью на снятой с гальванометра шкале. Деления наносятся по рискам, сделанным карандашом при градуировке прибора. При вычерчивании шкалы карандашные пометки стираются мягкой резинкой.

После установки шкалы и гальванометра в прибор полезно проверить еще раз градуировку шкалы.

ЛИТЕРАТУРА

Радиолюбительская измерительная аппаратура (экспонаты 6-й Всесоюзной заочной радиовыставки), Госэнергоиздат, 1949.

Р. М. Малинин, Самодельные омметры и авометры, Госэнергоиздат, 1949.

Г. А. Сницерев, Простейшие измерения, Госэнергоиздат, 1950.

В. А. Орлов, Измерительная лаборатория радиолюбителя, Госэнергоиздат, 1951.

Г. А. Кайро, Вольтметр-омметр, „Радио", 1947, № 4.

Тестер ТТ-1, „Радио", 1948, № 2.

П. Шибанов, Многопредельный омметр, „Радио" 1949, № 3.

Б. Н. Хятров, Любительский авометр, „Радио", 1948, № 3.

В. Чудаев, Проверка и градуировка измерительных приборов, „Радио", 1949, № 11.

С. Матлин, Измерительная аппаратура, „Радио", 1952, № 7.

Ю. Пахомов, Монтерский прибор, „Радио", 1953, № 4.